



# SOLUÇÕES DE MELHORAMENTO DE SERVIÇOS DE ENTREGAS COMO CONTRIBUIÇÃO SOCIOAMBIENTAL

Palavras-Chave: PESQUISA OPERACIONAL, ROTEAMENTO, PYTHON

Autores(as):

ALICE OLIVEIRA FERNANDES, FCA - UNICAMP

Prof. Dr. WASHINGTON ALVES DE OLIVEIRA (orientador), FCA - UNICAMP

---

## INTRODUÇÃO:

A otimização de percursos é de grande interesse para empresas e cooperativas que oferecem serviços baseados no uso de veículos para o transporte de pessoas ou de mercadorias, visto que podem levar a uma diminuição do tempo e do custo necessário para prestar um serviço e, conseqüentemente, elevar a lucratividade. Com o aumento da competitividade, as empresas cada vez mais estão sendo incentivadas a encontrar soluções e alternativas de planejamento do melhor uso dos recursos disponíveis.

Para problemas onde o objetivo é explorar uma quantidade combinatória de possibilidades de soluções, diferentes estratégias (métodos quantitativos) podem ser aplicadas na busca da melhor solução. A utilização destes métodos no auxílio da tomada de decisão costuma fornecer melhorias consideráveis para diversos setores. Em particular, no setor logístico, melhorar o planejamento da distribuição dos produtos pode representar uma redução significativa no custo total das operações, além de contribuir com a diminuição da quantidade de gases poluentes lançados no meio ambiente que está diretamente relacionada à redução do consumo de petróleo, lubrificantes e desgaste de componentes, entre outros. Nota-se que este melhoramento derivado da política da empresa é cada vez mais cobrado devido a sua responsabilidade socioambiental.

A pesquisa operacional (PO) engloba diversas categorias de temas e áreas de pesquisa, entre elas, os problemas de roteamento de veículos (PRVs) configuram uma categoria amplamente difundida na literatura com diversas aplicações práticas. Os problemas de fluxo máximo, caminho mínimo, de transporte e designação são exemplos dentro dessa categoria que também são conhecidos como problemas de otimização em redes (GOLDEN, BALL; BODIN, 1981). A literatura mostra que as diferentes variantes do PRV têm sido usadas para modelar inúmeros problemas reais com alta complexidade. Assim, o desafio de superar a complexidade do problema tem atraído cada vez mais pesquisadores no desenvolvimento de novos algoritmos de resolução que produzem desempenho computacional aceitável com boas soluções.

O PRV foi inicialmente proposto e modelado matematicamente por Dantzig e Ramser em 1959, no artigo intitulado “*Truck Dispatching Problem*”, que trata da programação de uma frota homogênea de caminhões de uma distribuidora central para atender a demanda por combustível de um conjunto de postos de gasolina. A ideia principal é que a frota percorra a menor distância possível ao longo do atendimento dos postos. Eksioglu et al. (2009) destacou que o estudo do PRV é campo em evolução dentro da PO, computando a cada ano aproximadamente 6% de crescimento na literatura relacionada ao tema. A maioria das pesquisas recentes disponíveis na literatura foca principalmente em variações específicas do PRV ou em técnicas de solução específicas. Atualmente existem cerca de 16 categorias de variantes do PRV, que representam com acurácia os casos logísticos reais (KONSTANTAKOPOULOS, GAYIALIS, KECHAGIAS, 2020).

Criada em 2016, a Cooperativa Terra e Liberdade surgiu com o propósito de auxiliar no escoamento da produção de alimentos anteriormente destinados ao Programa de Aquisição de Alimentos (PAA). Além do escoamento da produção, a cooperativa também tem como objetivo contribuir com a proposta de manutenção do cinturão verde da cidade de São Paulo/SP para abastecimento agroecológico, aumentando a biodiversidade e minimizando impactos ambientais.

Os alimentos são comercializados através de cestas agroecológicas e são produzidos de forma agroecológica nos seguintes espaços: Assentamento Dom Tomás Balduino (Franco da Rocha/SP); Assentamento Dom Pedro Casaldáliga (Cajamar/SP) e Comuna da Terra Irmã Alberta (São Paulo/SP), único acampamento do MST localizado no município de São Paulo.

Até o início da pandemia de COVID-19, a entrega das cestas agroecológicas pela Cooperativa Terra e Liberdade para os clientes ocorria através de 6 pontos de retirada em São Paulo/SP, localizados na região central e zona oeste da cidade. Com o início da pandemia e o decreto de *lockdown* pela Prefeitura, muitos dos pontos de retiradas ficaram fechados, o que impossibilitou a utilização desses locais pela Cooperativa. Assim, foi necessário se adaptar ao novo contexto e as cestas passaram a ser entregues nas casas dos consumidores.

Uma das demandas que surgiu durante o processo de adaptação logística foi a de determinar rotas para as entregas das cestas. Atualmente o processo de roteirização é realizado manualmente por uma das integrantes da Cooperativa e dura em média 6 horas para cada dia de entregas, o que representa cerca de 24 horas/mês. Os pedidos são realizados por meio do site e as entregas são feitas na semana seguinte, em dia específico. O próprio site gera uma planilha eletrônica discriminando os pedidos e endereços dos clientes. Os pedidos são então agrupados por regiões. Feito esse agrupamento, os endereços são inseridos na plataforma *Google My Maps* e a proximidade dos endereços de entrega é analisada visualmente e, então, as rotas são empiricamente traçadas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução logística para as entregas de alimentos da Cooperativa Terra e Liberdade, no sentido de melhorar o processo de geração de rotas, visando otimizar o processo atual que é totalmente manual e relativamente demorado. Como resultado, obteve-se um protótipo de *software* que possa ser usado em uma aplicação comercial visando auxiliar na roteirização automática das entregas da cooperativa.

A aplicação de estratégias de otimização em processos logísticos costumeiramente alcança de 5% a 20% de economia com frete (diminuição tanto da distância percorrida pela frota de veículos quanto da emissão de CO<sub>2</sub>). Reduz o ciclo de planejamento das rotas de horas para minutos e, ainda, pode causar diminuição média da frota necessária, que pode chegar a 25% (Neolog, 2022).

## **METODOLOGIA:**

O algoritmo neste trabalho utiliza a linguagem de programação *Python*, devido a sua facilidade de programação, disponibilidade de código aberto, e sua alta utilização, sendo a linguagem mais utilizada no mundo, de acordo com o ranking de março de 2022 da Tiobe (medidor da popularidade de linguagens de programação). Além disso, utilizou-se a suíte *OR-Tools*, pacote de código aberto para otimização do Google, estruturado para lidar com problemas de roteamento, fluxos, programação linear e linear inteira e programação de restrições. Essa suíte utiliza programação por restrições para modelar matematicamente os problemas como o PRV.

Para tal, foram utilizadas as bibliotecas *gmaps*, *googlemaps*, *ortools* e *pandas*. A estrutura do algoritmo foi a seguinte: instalação e importação das bibliotecas; configuração da chave google maps api; definição da localização do depósito; definição do número de veículos; definição da localização dos clientes; mapeamento do depósito e clientes; construção da matriz de distâncias; lógica da solução; mapeamento da solução.

Cabe aqui salientar que a definição do número de veículos não garante que todos serão utilizados. O PRV, além de buscar minimizar a distância percorrida, também busca minimizar a frota de veículos utilizada.

A partir da matriz de coordenadas geográficas dos clientes, foi utilizada a fórmula de Haversine para obter-se a matriz de distâncias em metros entre cada par de endereços. Essa fórmula calcula a distância mais curta entre dois pontos em uma esfera usando suas latitudes e longitudes medidas ao longo da superfície. O cálculo da distância entre dois pontos é dado pela seguinte fórmula:

$$d = 2r \sin^{-1} \sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}$$

Onde  $d$  é a distância em km,  $r$  é o raio da Terra (6371 km),  $\varphi_1$  e  $\varphi_2$  são as coordenadas de latitude dos pontos e  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são as coordenadas de longitude. É importante ressaltar que essa fórmula leva em consideração que a Terra é uma esfera, e não um esferoide, então os resultados não são exatos. Contudo, o desvio dos valores é baixo e não causou prejuízos para o propósito deste trabalho.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Inicialmente serão descritos os dados utilizados para demonstrar a metodologia empregada neste trabalho. Na tabela 1 a seguir são apresentados os dados, em coordenadas geográficas, de localização do depósito e dos 9 clientes que devem compor a rota.

	Latitude (°)	Longitude (°)
Depósito	29.399013	-98.526334
Cliente 1	29.417361	-98.437544
Cliente 2	29.486833	-98.508355
Cliente 3	29.468601	-98.524849
Cliente 4	29.394394	-98.530070
Cliente 5	29.351701	-98.514740
Cliente 6	29.435115	-98.593962
Cliente 7	29.417867	-98.680534
Cliente 8	29.355400	-98.445857
Cliente 9	29.459497	-98.434057

Tabela 1 - Coordenadas do depósito e clientes

Fonte: Autoria própria

Após a estruturação do algoritmo, conforme explanado na seção 3, foram criadas duas camadas sobrepostas ao mapa indicando a localização do depósito e dos clientes, conforme mostrado na figura 1 a seguir.

Em seguida, é calculada a matriz de distâncias e a partir dela é iniciada a lógica de solução do problema. Na tabela 2 é mostrada a rota para cada um dos três veículos e a sequência de entregas em cada uma. Nota-se que o ponto zero corresponde ao depósito, e os demais representam os clientes de 1 a 9.

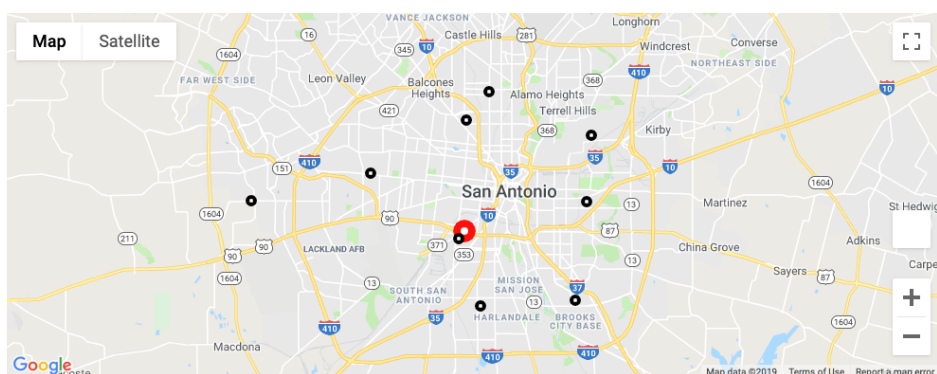


Figura 1 - Mapa com depósito e clientes

Fonte: Autoria própria

Veículo	Sequência de entregas	Distância Percorrida
1	0 – 3 – 2 – 9 – 0	40,082 km
2	0 – 7 – 6 – 0	40,228 km
3	0 – 4 – 5 – 8 – 1 - 0	39,490 km

Tabela 2 - Rotas por veículo

Fonte: Autoria própria.

Por fim, é adicionada mais uma camada ao mapa, incluindo as rotas com a sequência de entregas de cada veículo. A rota destacada em vermelho é a do veículo 2, em azul do veículo 1 e por fim, a rota em verde é a do veículo 3.



Figura 1 - Solução final

Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÕES:

A infraestrutura logística desempenha um papel crucial na operação eficiente de uma empresa, inclusive em cooperativas. Uma gestão de transporte eficiente é essencial para garantir que as atividades diárias da cooperativa sejam concluídas dentro do prazo e que o produto final seja entregue

com segurança e no tempo adequado. A adoção de tecnologia para otimizar as operações de transporte é uma tendência crescente na indústria logística e de transporte. Uma das abordagens mais populares é o roteamento de veículos, que consiste em uma abordagem sistemática para alocar veículos e otimizar as rotas de transporte.

O objetivo deste trabalho é explorar a aplicação do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) para solucionar os desafios logísticos enfrentados por uma cooperativa. O PRV é um problema de otimização combinatória que busca encontrar rotas ideais para uma frota de veículos que atenda plenamente às demandas dos clientes. A solução para esse problema pode resultar na redução de custos, melhoria da eficiência operacional e minimização do impacto ambiental.

Para abordar o problema logístico da cooperativa, foi aplicado o modelo PRV, levando em consideração os custos de transporte e as distâncias percorridas pelos veículos. O modelo foi construído com base nos seguintes parâmetros: número de veículos disponíveis e distância entre os clientes e o depósito. A implementação do modelo foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, o que possibilitou a geração de rotas otimizadas para cada veículo, resultando na minimização do tempo de entrega.

Os resultados desse estudo de caso demonstraram que a utilização do modelo PRV foi capaz de otimizar as rotas e reduzir os custos de transporte para a cooperativa. Além disso, a implementação do modelo também aprimorou a eficiência operacional, reduzindo o tempo necessário para realizar as entregas aos membros e melhorando a precisão das mesmas. Com a aplicação do modelo, será possível criar um histórico das rotas estabelecidas, facilitando a gestão e organização do processo pela cooperativa. O modelo se mostrou uma ferramenta prática que trará impactos positivos para a operação da cooperativa. É importante ressaltar que o modelo também pode ser expandido para outras unidades.

Em conclusão, o problema de roteamento de veículos é uma ferramenta útil para solucionar desafios logísticos em cooperativas, permitindo a otimização das rotas de transporte, redução de custos e melhoria da eficiência operacional. A implementação de um modelo PRV pode trazer grandes benefícios para a cooperativa, possibilitando maior precisão na definição das rotas e economia de tempo na sua elaboração.

---

## BIBLIOGRAFIA

EKSIOGLU, Burak; VURAL, Arif Volkan; REISMAN, Arnold. The vehicle routing problem: A taxonomic review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 57, n. 4, p. 1472-1483, 2009.

GOLDEN, B. BALL, M. BODIN, L. Current and future research directions in network optimization. **Computers & Operations Research**, v.8, n.2, p. 71-81, 1981.

KONSTANTAKOPOULOS, Grigorios D.; GAYIALIS, Sotiris P.; KECHAGIAS, Evripidis P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. **Operational research**, p. 1-30, 2020.

Neolog (2022). **Resultados do diagnóstico logístico**. Disponível em:

<<http://www.neolog.com.br/neolog/avaliacao.html>>. Acesso em: 18/04/22.